

Аспирант: Цирков П.А., ассистент

Научный руководитель: Якушин Б.Ф., доктор технических наук, профессор

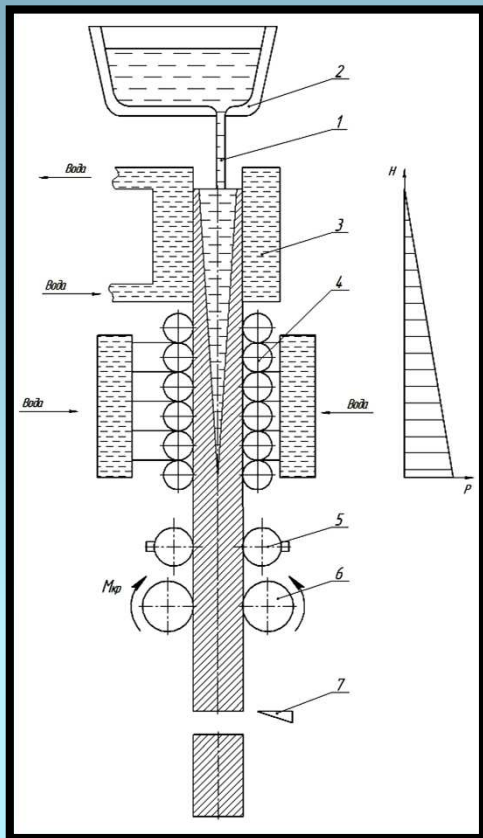
**Восстановление роликов УНРС
из высокопрочных сталей,
работающих при
высокотемпературном и силовом
циклическом нагружении в
агрессивной среде**



**ГОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кафедра МТ-13
Технология обработки материалов**

Россия, Москва, 2010 г.

В металлургии большой объем наплавочных работ выполняют при изготовительной и восстановительной наплавке роликов из теплоустойчивой хромомолибденованадиевой стали типа 24ХМ1Ф. Ролики входят в состав установок непрерывной разливки стали (УНРС). Они имеют диаметр до 500 мм и длину до 3500 мм.

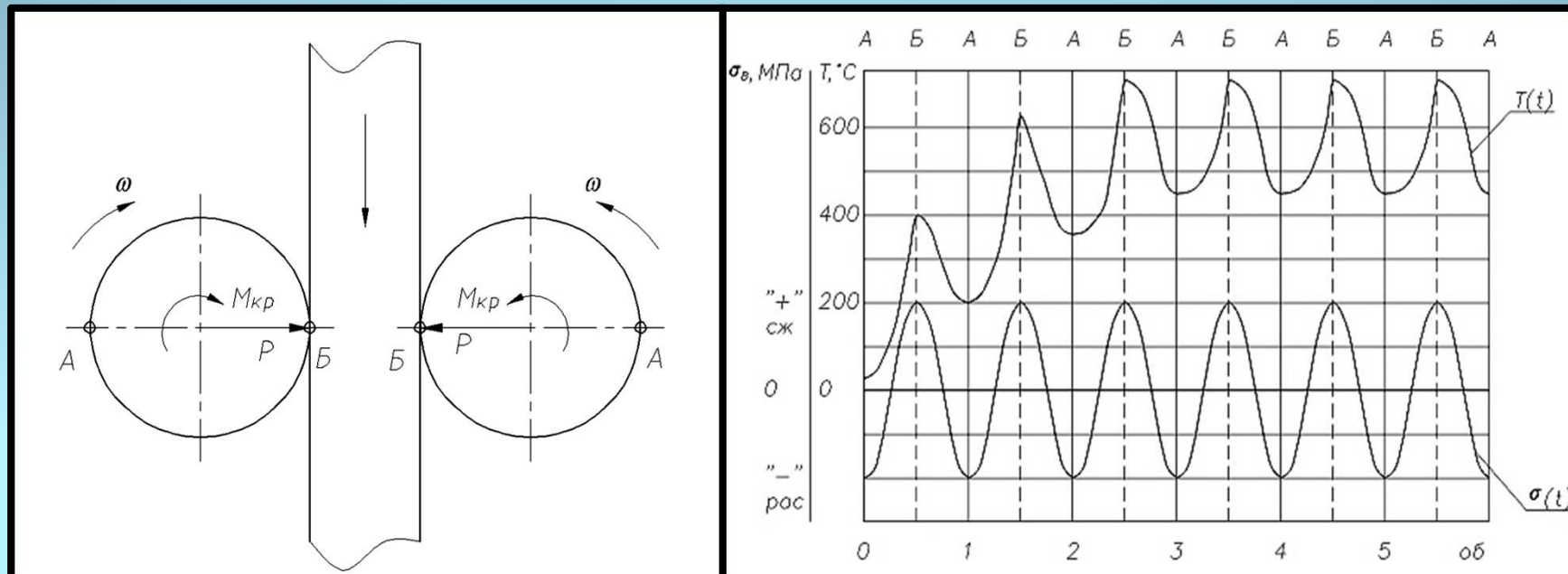


Условия работы роликов

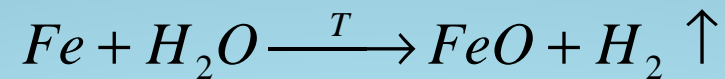
Ролики работают в сложных условиях, обусловленных тремя основными факторами:

Первый фактор – повышенная рабочая температура поверхности: у тянущих роликов она достигает $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, а у роликов, входящих в поддерживающие и разгибающие секции – $670 - 750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот тепловой режим обеспечивается нагревом вследствие контакта с горячим металлом и охлаждением проточной водой, проходящей в центральном отверстии ролика, а также струями воды на сляб-ленту и поддерживающие ролики. При повреждении системы внутреннего охлаждения ролика происходит его перегрев и ускоренный выход из строя.

Второй фактор – силовой. Он создается изгибающими моментами от распределенной нагрузки в виде давления столба жидкого металла и при изгибе сляб-ленты, а также крутящим моментом тянущих роликов. В пересчете на сосредоточенную нагрузку в центре длины бочки ролика усилие изгиба достигает 16 т. Вращение роликов вызывает знакопеременные напряжения с частотой, равной частоте вращения.



Третий фактор – охлаждающая паровоздушная среда, образующаяся в результате непрерывного струйного охлаждения речной водой высокотемпературной поверхности роликов и сляб-ленты. При контакте с горячим металлом водяной пар частично диссоциирует, образуя водород и кислород, а также выделяет другие примесные элементы, входящие в состав речной воды (Cl, S и др.), что создает слабоагрессивную среду:



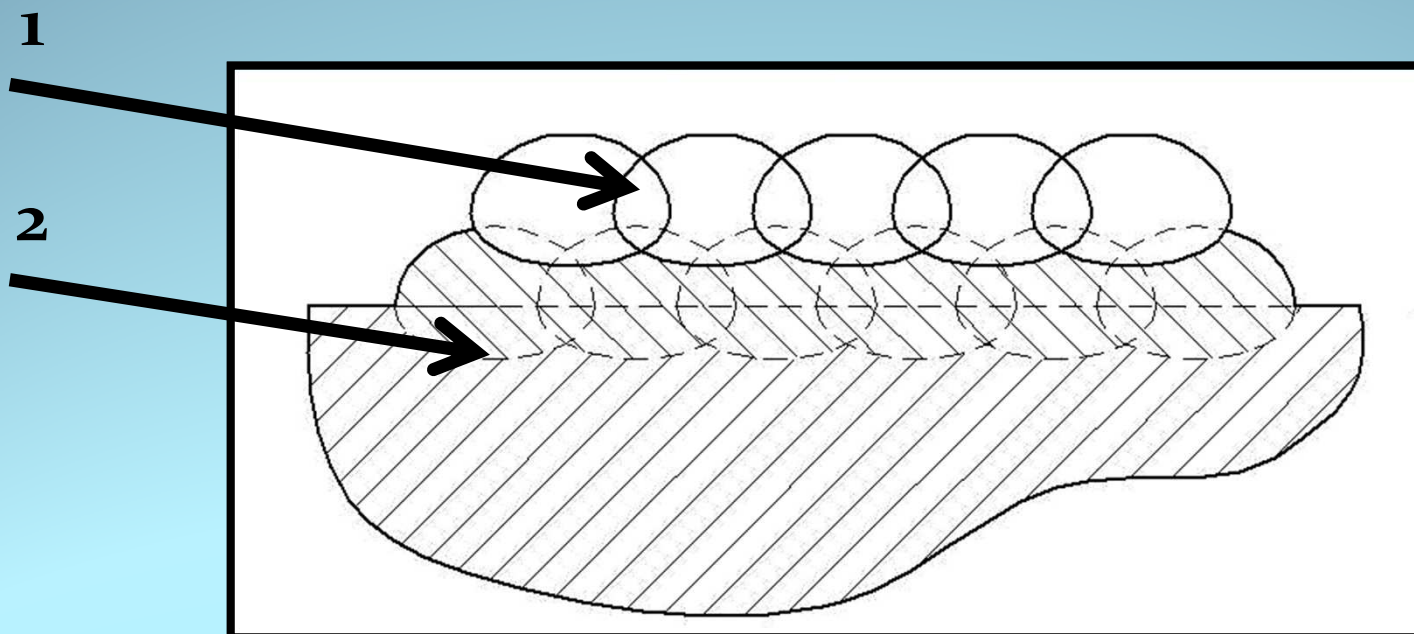
При совместном воздействии данных факторов нередко случаи преждевременного выхода из строя роликов из-за образования поверхностных трещин либо хрупкого разрушения в результате развития трещин в средней части длины бочки ролика.

Средняя наработка роликов составляет 3500 плавов. Из-за возникающих переломов роликов этот показатель может снизиться до 2079 плавов (примерно 6 мес.).

Области возникновения трещин

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований ролики разрушаются в месте:

1. Перекрытия двух соседних валиков наплавленного слоя
2. Перемешивания наплавленного и основного металлов

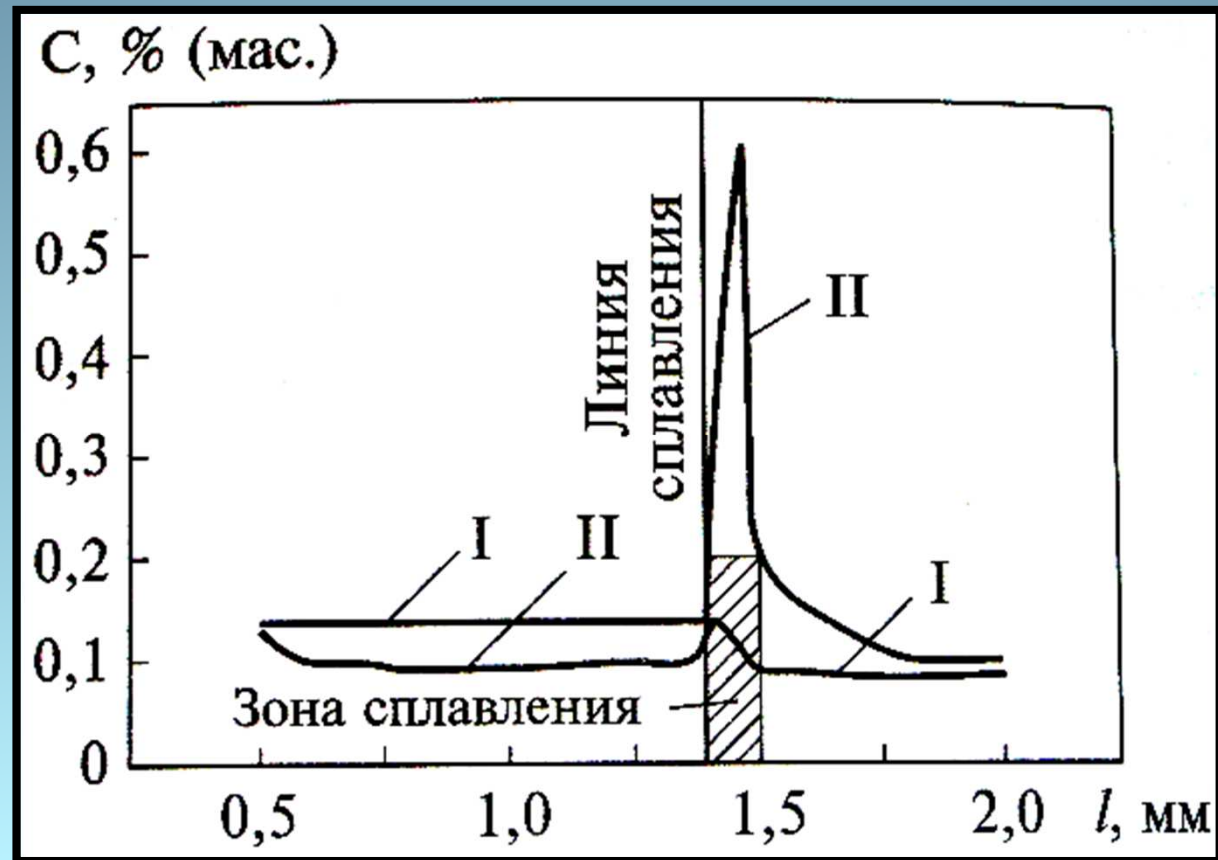


Причины возникновения трещин

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований ролики разрушаются вследствие:

1. Неравномерности распределения углерода в зоне сплавления двух разнородных сталей (основного и электродного металла).

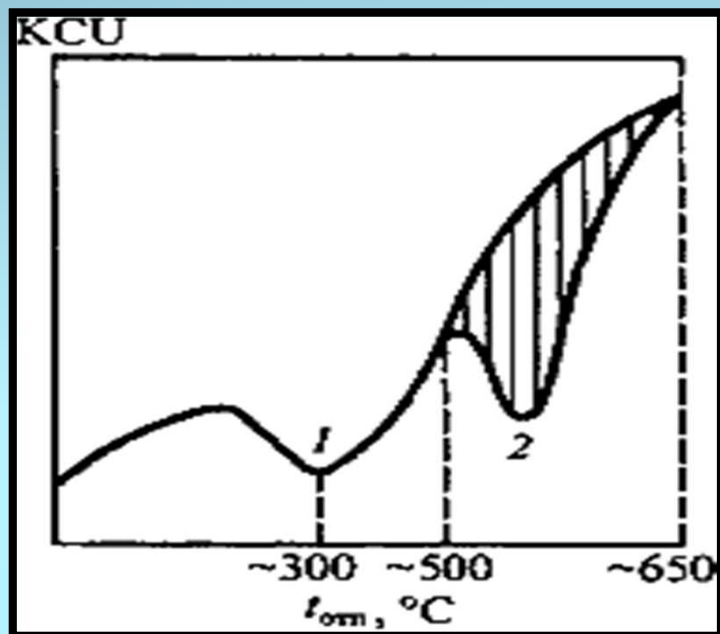
(На стыке сплавления по сравнению с его торцом имеется значительное увеличение количества углерода со стороны аустенитного материала и уменьшение его со стороны мартенситного, следовательно одной из причин, способствующих структурной неоднородности в зоне сплавления разнородных сталей при нагреве, является диффузия, вызванная химическим сродством углерода и карбидообразующими элементами (например, хромом – Cr), и усиленная напряжениями из-за различия коэффициентов линейного расширения сплавленных материалов.)



Изменение концентрации углерода в зоне сплавления перлитной (слева) и аустенитной (справа) сталей после сварки (кривая I) и после нагрева до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержки в течение 300 часов (кривая II)

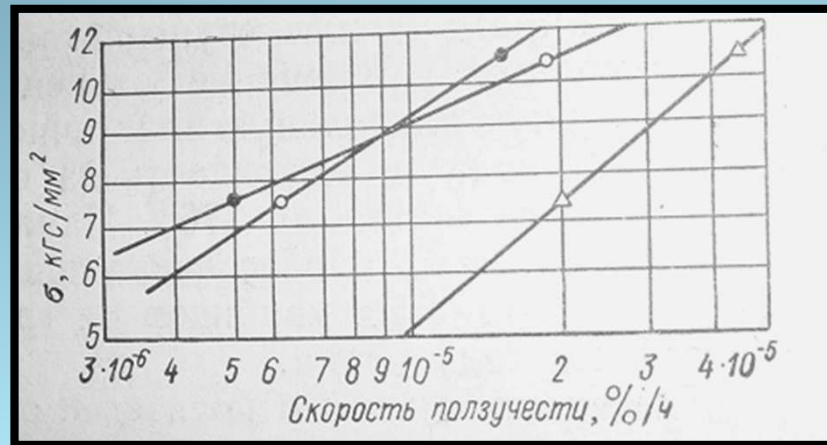
2. Смешивания в ванне стали 24ХМ1Ф и электрода 12Х13 в соотношении 1:1 формируется сталь типа 18Х7МФ. Для такой стали в известных источниках [2] нет термокинетических диаграмм. Она имеет высокий эквивалент углерода, т.е. закаливается при сварке и обычно не применяется в машиностроении. Ближайший аналог – сталь 15Х5М. Она относится к мартенситному классу и характеризуется плохой свариваемостью и, следовательно, склонна к трещинообразованию.

3. Возникновения трещин в ЗТВ, которые стимулируется диффузионным водородом, насыщающим сварочную ванну при наплавке под флюсом до уровня $10 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла [10] и диффундирующим из нее в ЗТВ по закону выравнивания концентрации в смежные слои металла. Возникновение зародышей хрупких разрушений в инкубационном периоде после наплавки, т. е. в течение 24 ч, и последующее охрупчивание при отпуске может создать условия для их развития при циклическом нагружении.



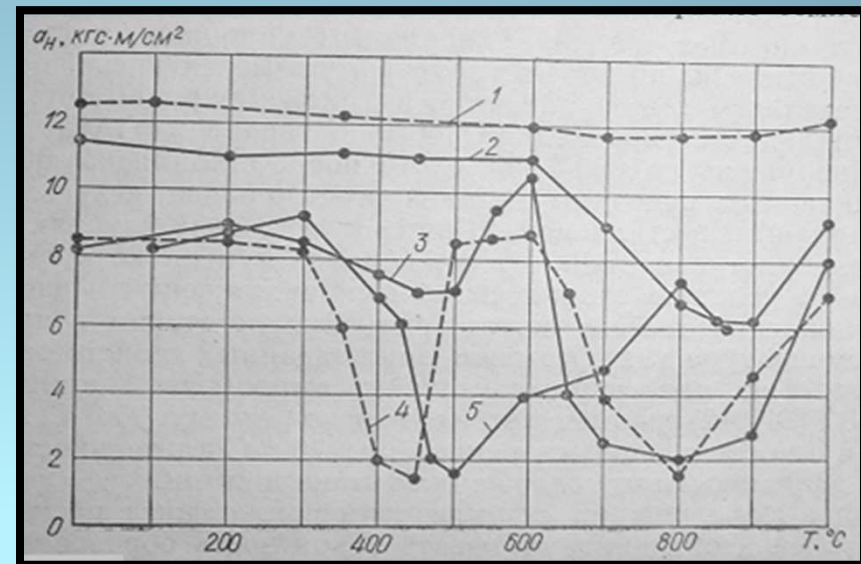
Охрупчивание легированной стали при отпуске с большой (1) и малой (2) скоростью охлаждения

4. Тонкой разветвленной структуры ферритных участков, которые вследствие высокотемпературных условий работы приводят к интенсивному σ -охрупчиванию металла, если содержание α -фазы превышает 5%, и к 475-градусному охрупчиванию, если оно более 8%.



Влияние содержания феррита на сопротивление ползучести при 600 °С наплавленного металла типа Э-09Х19Н11Г3М2Ф

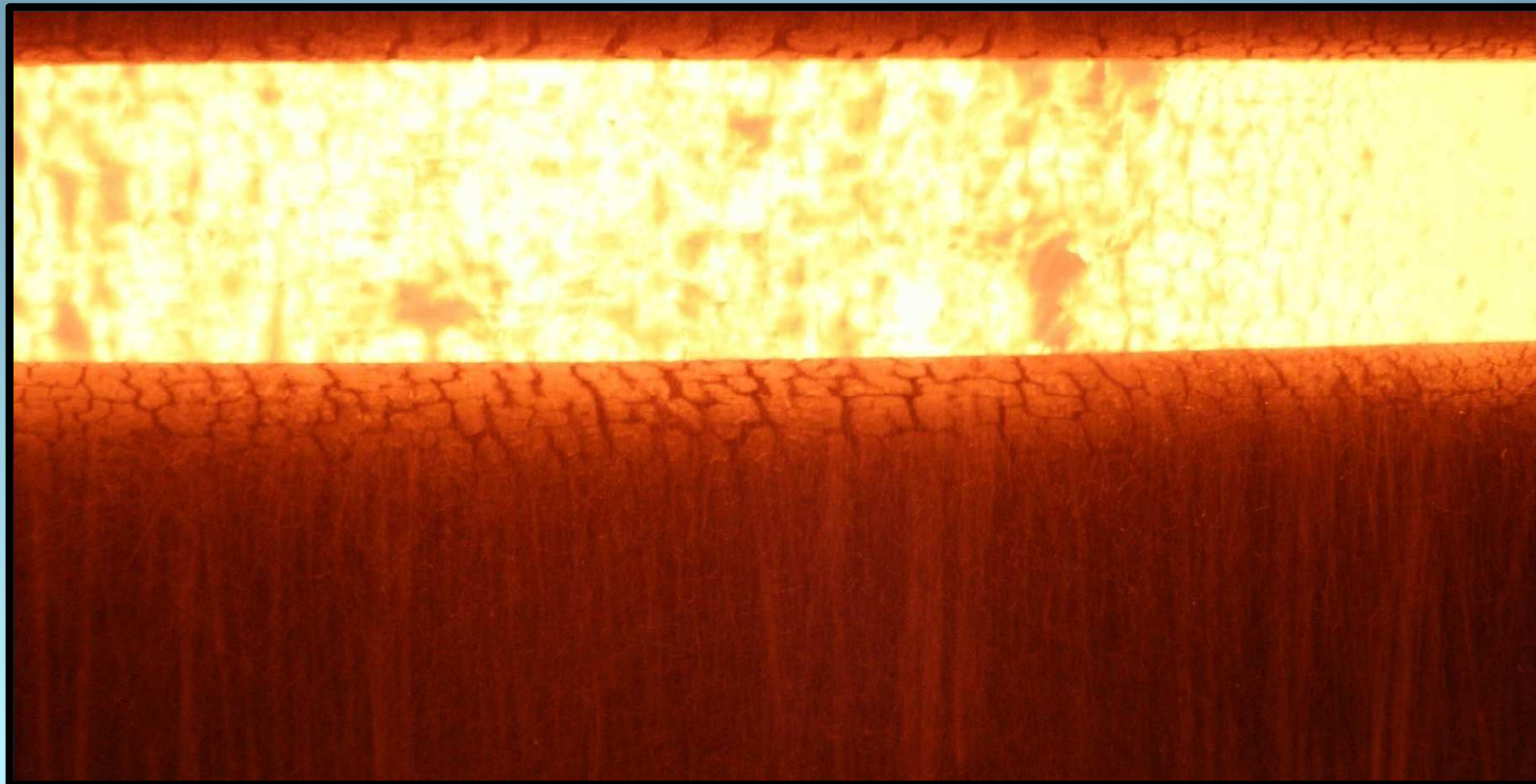
○ - аустенит; ● - 4% феррита; △ - 8% феррита



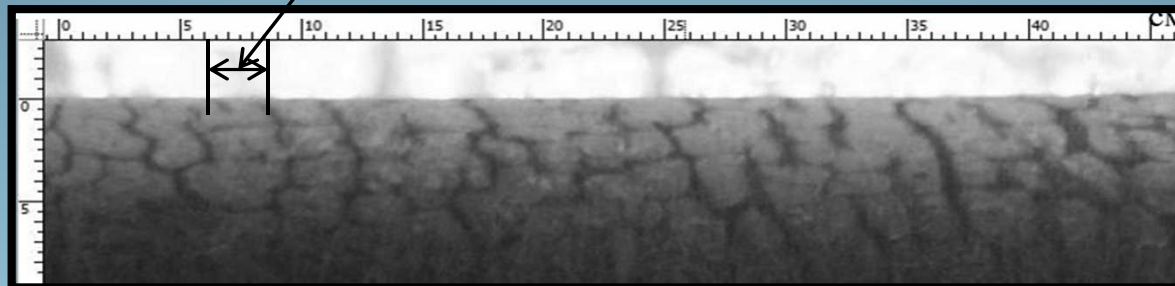
Ударная вязкость наплавленного металла типа Э-07Х19Н11М3Г2Ф при 20 °С после выдержки при температуре 200-1000 °С длительностью 10ч:

1 - 0; 2 - 4; 3 - 8; 4 - 20 (% феррита)
5 - Состав Э-08Х24Н6ТАМФ (50% феррита)

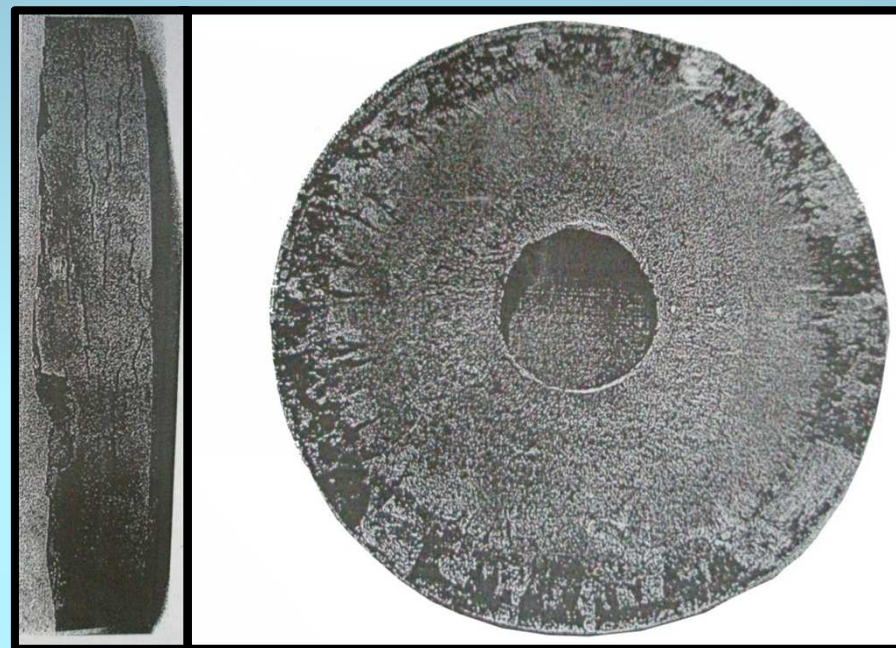
Внешний вид направляющего ролика МНЛЗ в процессе работы



P – шаг между трещинами на ролике (25-30 мм)



Вид характерного излома



Изготовительную и восстановительную наплавку роликов производят под флюсом жаропрочной высоколегированной сталью типа 12Х13 с целью повышения специальных свойств поверхностного слоя (жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости и др.).

Сталь 24ХМ1Ф имеет $S_{экв}=0,92$. Это ограничивает ее свариваемость, т.к. считают, что при этом неизбежна закалка и образование холодных трещин, поэтому ее наплавляют с предварительным подогревом 200 °С и последующим отпуском 600 °С.

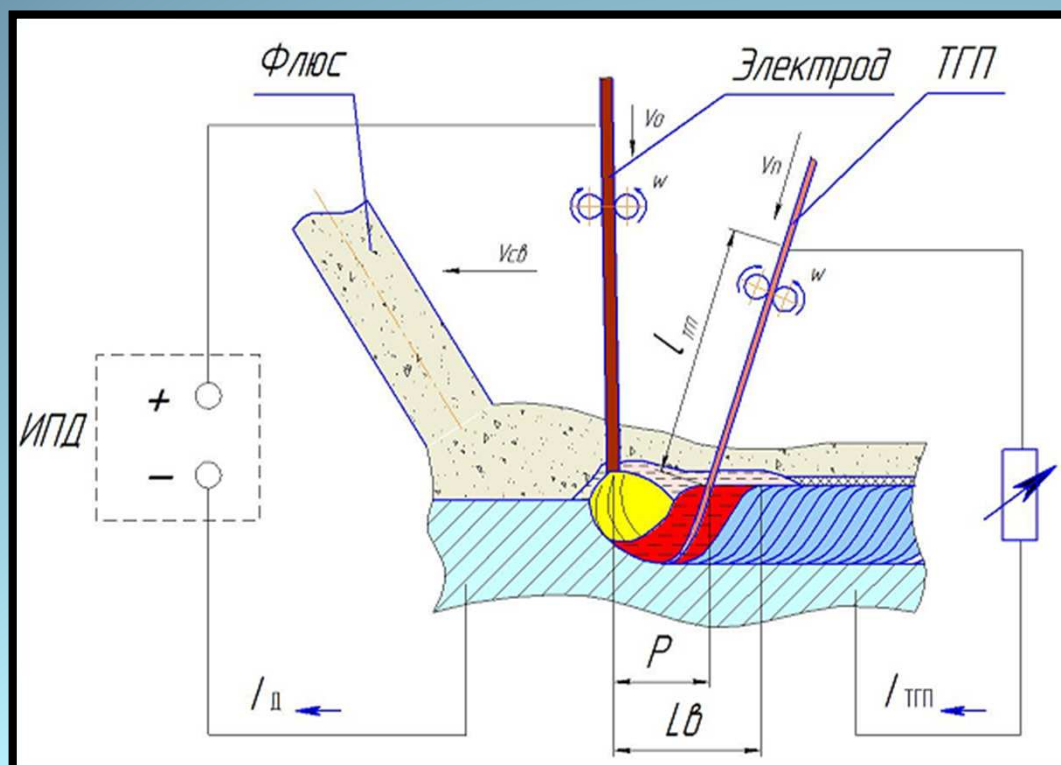
Для повышения качества и производительности, снижения скорости ω_{6-5} при наплавке больших объемов металла при изготовлении и восстановлении роликов целесообразно применять гибридный метод наплавки, при котором дуговой нагрев электродной проволоки сочетается с электроконтактным нагревом проволоочной присадки.

Сущность метода

В наплавочную ванну, наряду с каплями перегретого электродного металла подают твердую горячую присадочную проволоку (ТГП), нагретую электроконтактным способом до температуры 1200-1300 °С, минуя активное действие дуги, и расплавляется избыточной теплотой перегрева жидкого металла что обеспечивает:

- снижение температуры ванны и детали,
- увеличение объема наплавки,
- легирование наплавленного металла,
- повышение его эксплуатационных свойств (износостойкость, коррозионную стойкость, жаростойкость),
- увеличение ресурса деталей, работающих в агрессивной среде при циклическом изменении температуры и циклическом напряженном состоянии.

Схема наплавки с ТГП



Параметры процесса:

$$G_{\text{э}}/G_{\text{дгп}}=0,5-2,0$$

$$P=(0,1-0,5)L_{\text{в}}$$

$$I_{\text{д}}=400 \text{ А}, U_{\text{д}}=28 \text{ В}$$

$$I_{\text{тгп}}=300 \text{ А}, U_{\text{тгп}}=3-5 \text{ В}$$

$$L_{\text{тгп}}=30d_{\text{тгп}}$$

$$V_{\text{св}}=15 \text{ м/час}$$

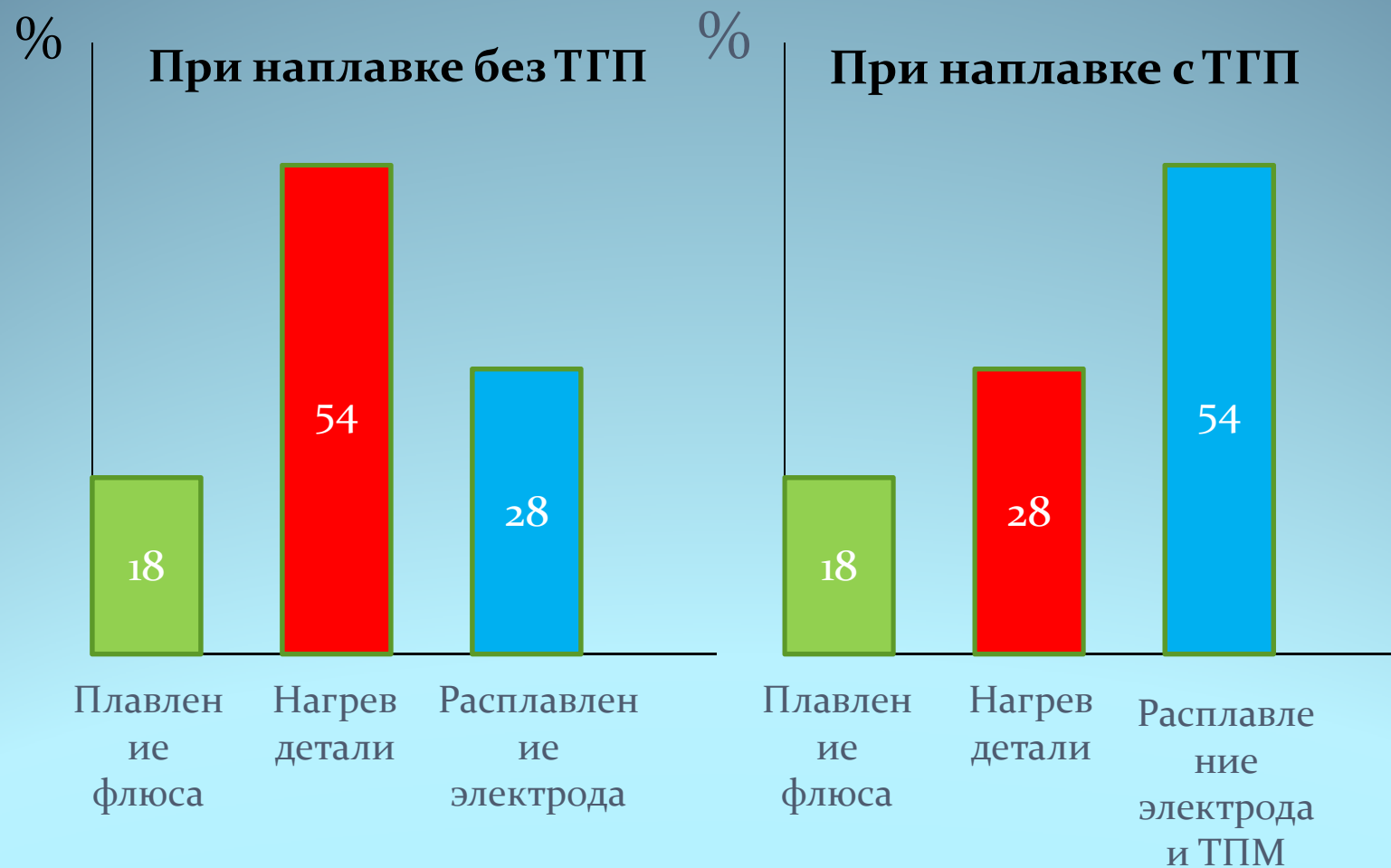
$$d_{\text{э}}=1,5-3 \text{ мм}, d_{\text{дгп}}=1-2 \text{ мм}$$

$$Q_{\text{тгп}}=Q_{\text{д}}/10$$

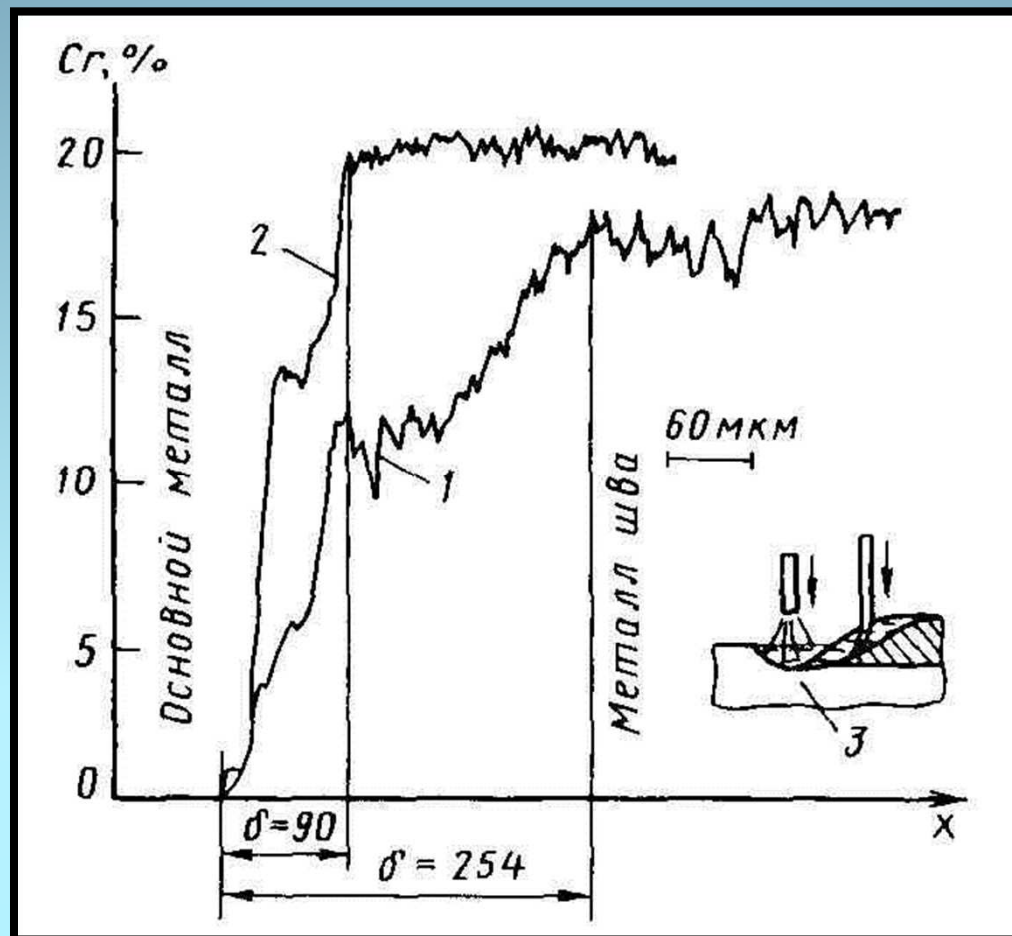
Способ применяется при дуговой наплавке под флюсом с большой q/V и в защитных газах износостойкими и коррозионностойкими материалами, в том числе и для сварки с поперечными колебаниями

Оптимизация баланса энергии дуги:

(Алешин Н.П. Чернышов Г.Г. Сварка. Резка. Контроль: Справочник: В 2-х т. - М.: Машиностроение, 2004)



Уменьшение толщины слоя переменного состава δ при вводе в ванну внутренних стоков теплоты в виде охлаждающей присадки при сварке под флюсом

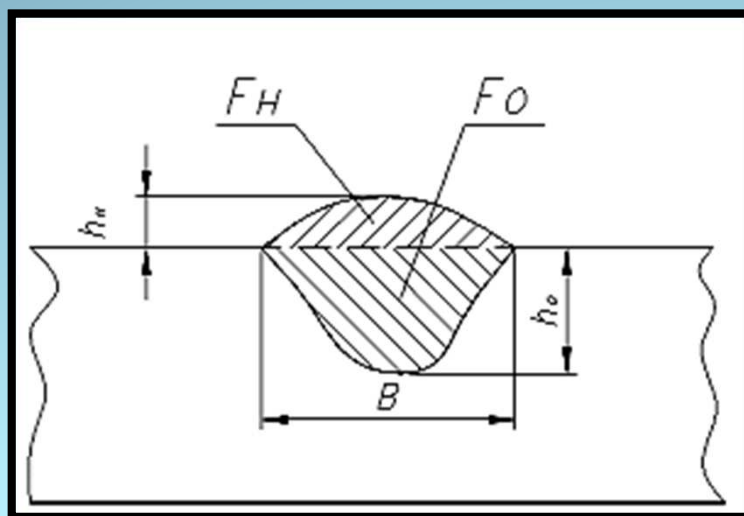


Соотношение долей участия в наплавке основного и наплавочного металлов:

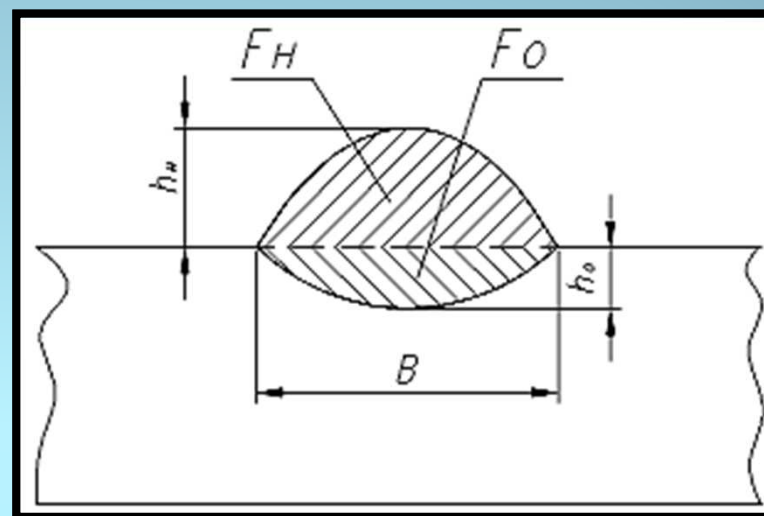
$$q/v = \text{const}$$

При наплавке без ТГП

При наплавке с ТГП



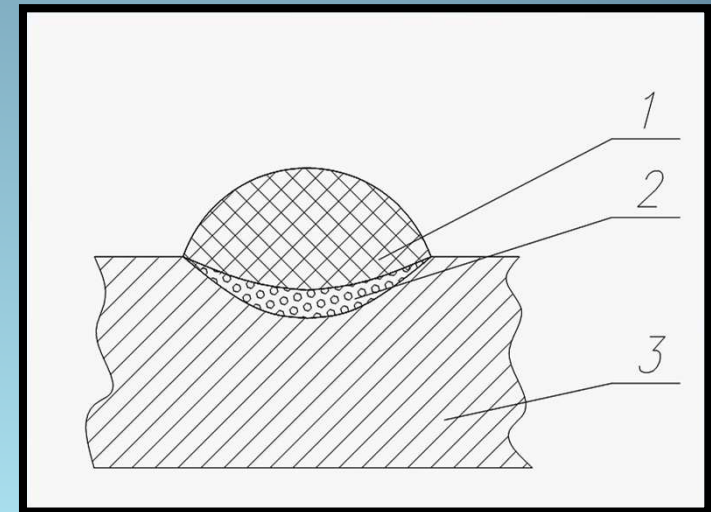
$$F_o/F_n = 1,35$$



$$F_o/F_n = 0,4$$

Преимущества наплавки с ТГП:

- наибольшая доля присадочного металла, усваиваемая в наплавочной ванне;
- идеализация термического цикла наплавки (по Рыкалину Н.Н.);
- отдельное управление химическим составом и структурой наплавки;
- универсальность процесса, т.е. применимость для любых сплавов и наплавочных материалов во всех пространственных положениях и способах защиты;
- измельчение зерна и сужение поднаплавочного слоя ЗТВ;
- формирование аустенитного барьерного слоя под наплавкой.

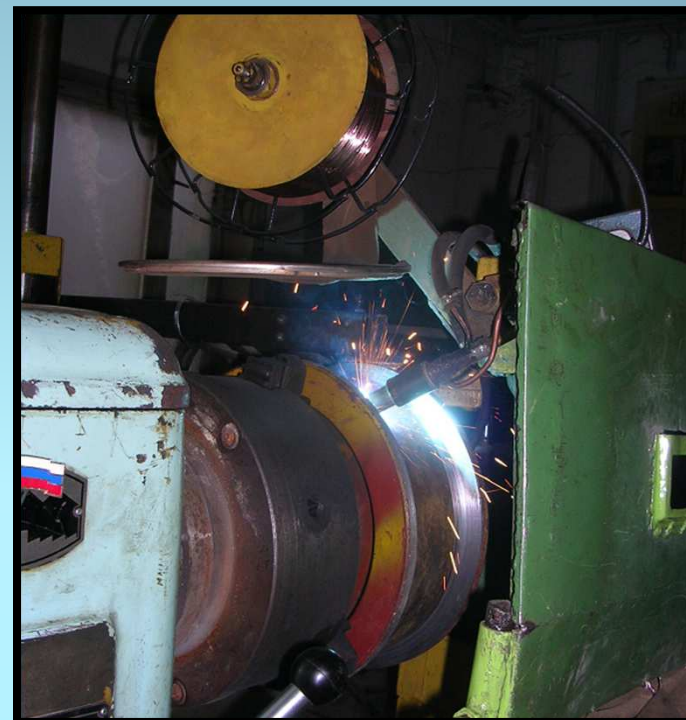
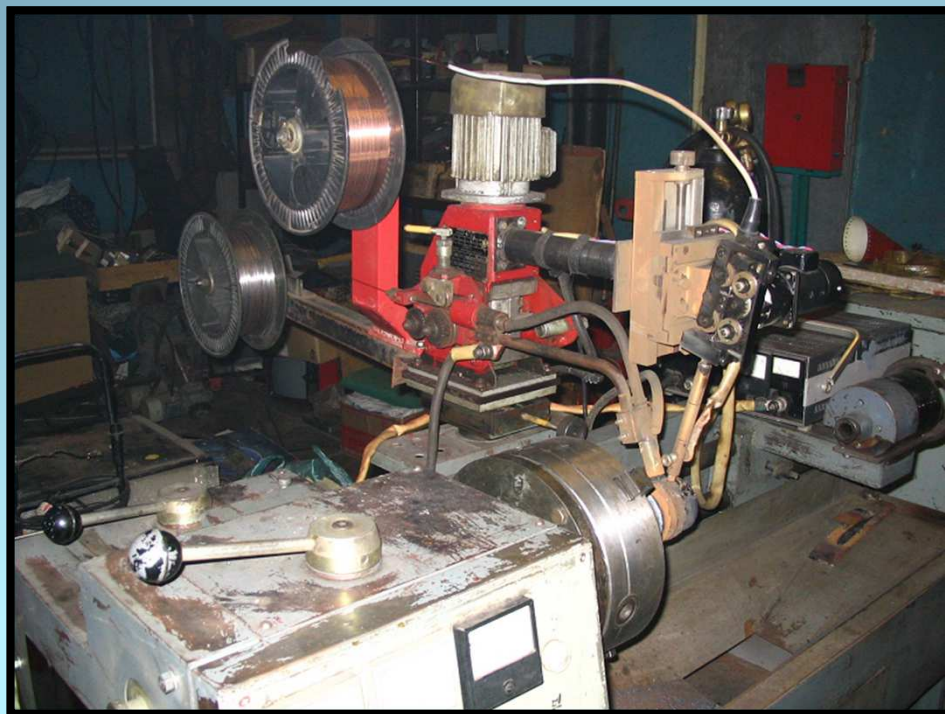


1. Износостойкий или коррозионностойкий слой;
2. Аустенитный барьерный слой;
3. Основной металл

Технико-экономические показатели при наплавке с ТГП:

- увеличение коэффициента наплавки и производительности до 200-250%;
- снижение глубины проплавления и ширины зоны нагрева до 150%;
- уменьшение остаточных напряжений в деталях;
- снижение энергоемкости на 1 кг наплавочного металла на 40%;
- повышение коэффициента перехода в ванну при легировании элементами с высокой химической активностью;
- увеличение качества наплавочного металла и его ресурса в условиях УНРС;
- простота реализации на серийном оборудовании для сварки и наплавки;
- автоматическое управление процессом усвоения присадки в ванне путем измерения усилия осадки присадки в ванне в качестве сигнала обратной связи для регулирования мощности нагревателя ДГП и скорости ее подачи.

Оборудование для наплавки с ТГП:



Выводы:

1. Отказы роликов УНРС вызваны разнородной наплавкой, а также сложными условиями эксплуатации, включающими длительное термосиловое циклическое воздействие в агрессивной среде на неоднородную метастабильную структуру наплавленного металла, образованную сплавлением перлитной и аустенитной сталей и претерпевающую охрупчивание в процессе длительного высокотемпературного нагрева и нагружения при эксплуатации.
2. Отказы роликов УНРС являются случайным явлением, их вероятность увеличивается при одновременном воздействии нескольких отрицательных факторов.
3. Снижением доли основного металла роликов в наплавке можно повысить их ресурс.
4. Ввод ТГП повышает долю электрода в наплавке, увеличивает коэффициент наплавки и производительность процесса.